



1

THERMOELEKTRISCHE MODULE MIT FLEXIBLER GEOMETRIE

DIE AUFGABE

Die Sicherung einer zuverlässigen und vor allem wartungsfreien Energieversorgung für Sensornetzwerke wird zukünftig an Bedeutung gewinnen. Mit der zunehmenden Digitalisierung und Miniaturisierung von Sensornetzwerken z. B. für die Zustandsüberwachung von Bauteilen oder Maschinen, das »Internet der Dinge« oder mobile Anwendungen wird der Bedarf für autarke Elektronik und damit auch Energieversorgung deutlich ansteigen.

Für energieautarke Sensorplattformen mit drahtloser Kommunikationseinheit werden Betriebsspannungen von nur wenigen 100 mV benötigt. In diesem Spannungsbereich kann die Thermoelektrik einen wesentlichen Beitrag für eine zuverlässige, langlebige und autarke Energieversorgung leisten, wenn die Elemente kostengünstig, effizient und massenfertigungstauglich hergestellt werden können. Thermoelektrik basiert auf dem Seebeck-Effekt, nach dem ein Temperaturgradient in einem thermoelektrischen Material zu einer Diffusion von Ladungsträgern führt, die in einer nutzbaren elektrischen Spannung resultiert. Der Wärmefluss zwischen der Warm- und der Kaltseite wird direkt in elektrische Energie umgewandelt.

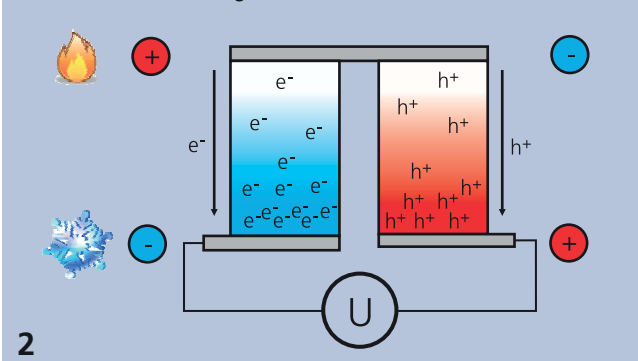
Die Herstellung thermoelektrischer Module erfolgt momentan semi-manuell, was im Vergleich zu einer automatisierten Fertigung zu hohen Fehlerquoten führt. Die für konventionelle Elemente genutzten Materialien (z. B. Bismut, Tellur, Germanium) sind oft toxisch, selten oder teuer. Der Aufbau eines konventionellen thermischen Moduls ist starr und geometrisch unflexibel; thermische Spannungen zwischen den Materialien limitieren die maximale Elementgröße. Wünschenswert ist die Entwicklung flexibler thermoelektrischer Module, die mit hohem Automatisierungsgrad gefertigt werden können.

UNSERE LÖSUNG

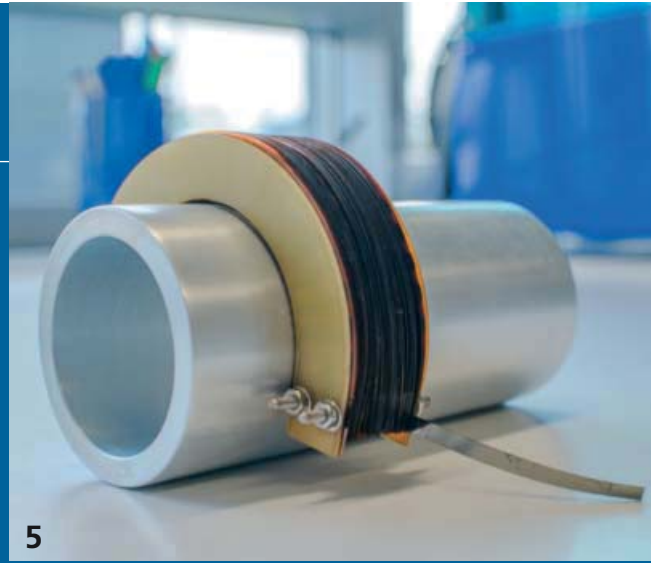
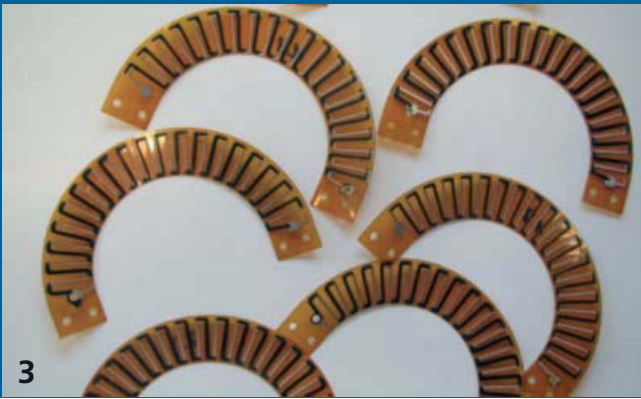
Mittels des Dispenserdrucks ist es möglich, thermoelektrische Module kostengünstig und effizient herzustellen. Das maskenlose Verfahren zeichnet sich durch einen hohen Automatisierungsgrad sowie Durchsatz aus und ist hinsichtlich geometrischer Parametervariationen sehr flexibel. Dispenserdruck ist nutzbar für verschiedene Materialien (Metalle, Polymere und Komposite), die als Pasten vorliegen. Das pastöse Material wird definiert durch eine feine Kanüle gefördert und auf dem zwei- oder dreidimensionalen Substrat abgelegt.

Die Verfahrensvorteile werden besonders bei der Herstellung von individuell konturangepassten thermoelektrischen Modulen deutlich. Hier wird das Substrat zunächst mit einer elektrischen Kontaktierung und dem thermoelektrischen Material bedruckt. Anschließend wird die erforderliche Kontur mit einem Laser ausgeschnitten. Die nun konturangepassten Streifen werden gestapelt, vertikal angeordnet und elektrisch kontaktiert. Durch die vertikale Anordnung lässt sich eine hohe Anzahl an Thermopaaren realisieren. Die Höhe des thermoelektrischen Materials und des resultierenden Temperaturgradienten ist an die jeweilige Anwendung anpassbar.

Schematische Darstellung eines thermoelektrischen Generators



2



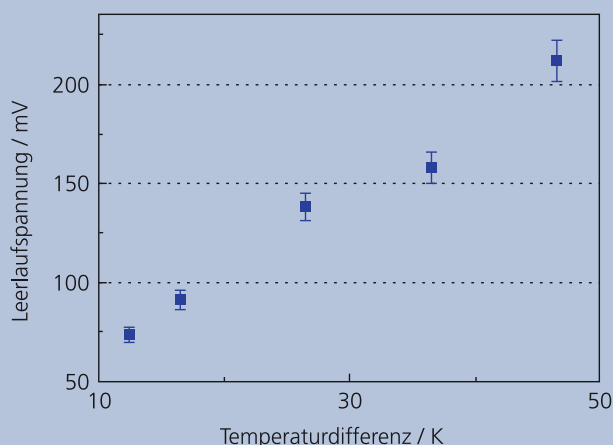
ERGEBNISSE

Zur Erzeugung der angepassten Kontur für die thermoelektrischen Folien wird die Geometrie der Wärmequelle analysiert und in ein CAD-Modell überführt. Darauf aufbauend wird das Druckbild für die elektrische Kontaktierung und das thermoelektrische Material erzeugt. Als Substrat wird meist eine flexible und temperaturbeständige Polyimidfolie verwendet.

Die elektrische Kontaktierung der thermoelektrischen Materialien erfolgt durch aufgedruckte Silberleitbahnen. Die Silberpaste zeichnet sich nach dem Trocknen durch eine hohe elektrische Leitfähigkeit und eine geringe Neigung zur Rissbildung bei Biegung aus.

Nachfolgend wird das thermoelektrische Material auf die Trägerfolie mit den Silberkontakten aufgedruckt. Zur Demonstration der Machbarkeit wird nur ein p-leitendes Material, Poly(ethylendioxythiopen:Polystyrolsulfonsäure, kurz PEDOT:PSS) verwendet, da thermoelektrisch einsetzbare n-leitende Polymere kommerziell nicht verfügbar sind. Je nach Anwendung werden zur Erhöhung des Leitungsquerschnitts mehrere Lagen PEDOT:PSS gedruckt und jeweils getrocknet.

Leerlaufspannung eines thermoelektrischen Moduls in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz



4

Anschließend wird die Trägerfolie konturangepasst mit einem Laser geschnitten. Als Ergebnis erhält man mehrere kleine flexible Folienstücke. Diese thermoelektrischen Folien können anschließend elektrisch seriell oder parallel verschaltet werden, um die benötigte Ausgangsspannung oder den Strom zu erhöhen.

Bei serieller Verschaltung der Folien und einer Temperaturdifferenz von ca. 25 K wurde eine Leerlaufspannung von etwa 125 mV erzeugt. Die Kaltseite des Moduls wies dabei Raumtemperatur auf. Diese Spannung reicht bereits für den Betrieb eines kommerziellen Mikrocontrollers in einer Sensorplattform aus.

Durch die Verwendung von Materialien mit einem höheren Seebeck-Koeffizienten oder von p- und n-leitendem Material kann die Ausgangsspannung und -leistung bei unveränderter Geometrie oder Prozessierung deutlich erhöht werden. Durch Verbesserungen im Bereich der Wärmeübertragung von der Quelle und zur Senke werden weitere Fortschritte hinsichtlich der Leistungsfähigkeit des konturangepassten thermoelektrischen Moduls erwartet.

- 1 *Bedrucktes Substrat vor dem Laserzuschnitt*
- 3 *Separate Generatorfolien nach dem Zuschnitt*
- 5 *Konturangepasstes thermoelektrisches Modul auf einem Rohrstück*

KONTAKT

M.Sc. Lukas Stepien

+49 351 83391-3092

lukas.stepien@iws.fraunhofer.de

